

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Résistance thermique de l'isolant de bâtiments Shirtliffe, C. J.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

<https://doi.org/10.4224/40001024>

Digeste de la construction au Canada, 1974-01

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=1acc78d5-8f75-4de5-953e-7ea6ab6a7dd1>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=1acc78d5-8f75-4de5-953e-7ea6ab6a7dd1>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

Digeste de la Construction au Canada

Division des recherches en construction, Conseil national de recherches Canada

CBD 149F

Résistance thermique de l'isolant de bâtiments

Publié à l'origine en janvier 1974.

C. J. Shirliffe

Veillez noter

Cette publication fait partie d'une série qui a cessé de paraître et qui est archivée en tant que référence historique. Pour savoir si l'information contenue est toujours applicable aux pratiques de construction actuelles, les lecteurs doivent prendre conseil auprès d'experts techniques et juridiques.

Chaque jour certains indices nous rappellent que nous devrions vouer nos efforts à utiliser efficacement nos sources d'énergie, non seulement à cause des coûts ascendants mais aussi à cause de la nécessité de combattre la pollution de l'air. L'utilisation accrue de l'isolation thermique pour réduire les demandes d'énergie des bâtiments est une façon efficace d'atteindre ce but. Il est cependant essentiel que le concepteur possède des notions justes sur le comportement de l'isolant s'il veut étudier divers systèmes isolants et choisir les matériaux appropriés. Ce Digest se propose de donner certains renseignements nécessaires pour une meilleure compréhension de l'isolant comme matériau.

Le Concept de la Résistance

La vitesse d'écoulement de la chaleur au travers une épaisseur de matériau sous les conditions d'un régime constant peut s'exprimer ainsi

$$Q = A(\Delta T)/R$$

où A est l'aire de la face au travers de laquelle la chaleur s'écoule.

ΔT est la différence de température entre la face chaude et le face froide du matériau.

R est la résistance thermique par unité de surface d'un morceau de matériau.

La valeur de la résistance thermique d'un morceau de matériau peut se concevoir comme étant la différence de température nécessaire pour produire au travers du morceau une unité d'écoulement de chaleur par unité de surface. Dans le système anglo-saxon d'unités de mesure ΔT est donnée en degrés Fahrenheit, Q en Btu par heure, et A en pieds carrés; R s'exprime en degrés F par Btu par heure par pied carré.

En construction le terme "isolant" désigne généralement un matériau fournissant plus d'une unité de résistance par pouce d'épaisseur. La plupart des matériaux vendus comme isolant de bâtiment fournissent une résistance variant entre 2 et 6 unités par pouce d'épaisseur.

La Résistance Thermique des Lames d'Air

La chaleur est transmise au travers une lame d'air par conduction, ou conjointement par conduction et convection et par rayonnement. La transmission de chaleur par conduction est indépendante de l'orientation, mais elle est inversement proportionnelle à l'épaisseur de la lame. La transmission par convection, au contraire, dépend énormément de l'orientation, de l'épaisseur (Figure 1) et de la hauteur de la lame. La transmission de la chaleur par rayonnement est indépendante de l'épaisseur et de l'orientation de la lame d'air, mais dépendante de la réflectance des surfaces qui l'entourent (Figure 1). Ces trois phénomènes sont influencés par la température des surfaces. Lorsque ces trois procédés de transmission de la chaleur se produisent simultanément, la résistance thermique totale des lames d'air, tant réfléchissantes que non réfléchissantes, est indépendante de l'épaisseur des lames lorsque celles-ci mesurent plus d'un pouce d'épaisseur (Figure 2).

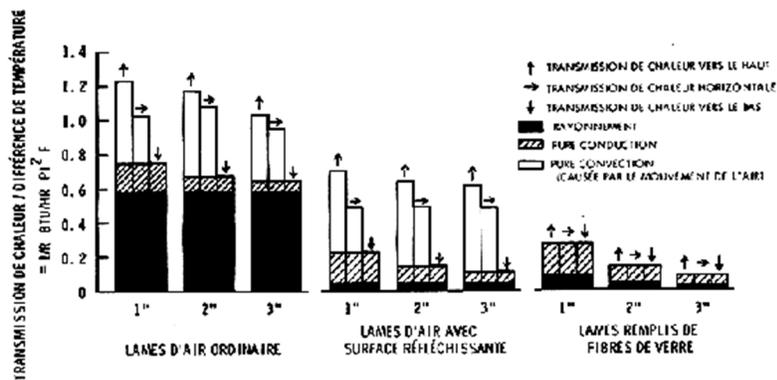


Figure 1. Variation de la transmission de chaleur au travers un espace d'air due à son épaisseur, le coefficient émissif de sa surface, l'épaisseur de la laine isolante et la direction du cheminement de la chaleur. Le tableau montre également le pourcentage de déperdition de chaleur due au rayonnement, à la conduction et à la convection pure.

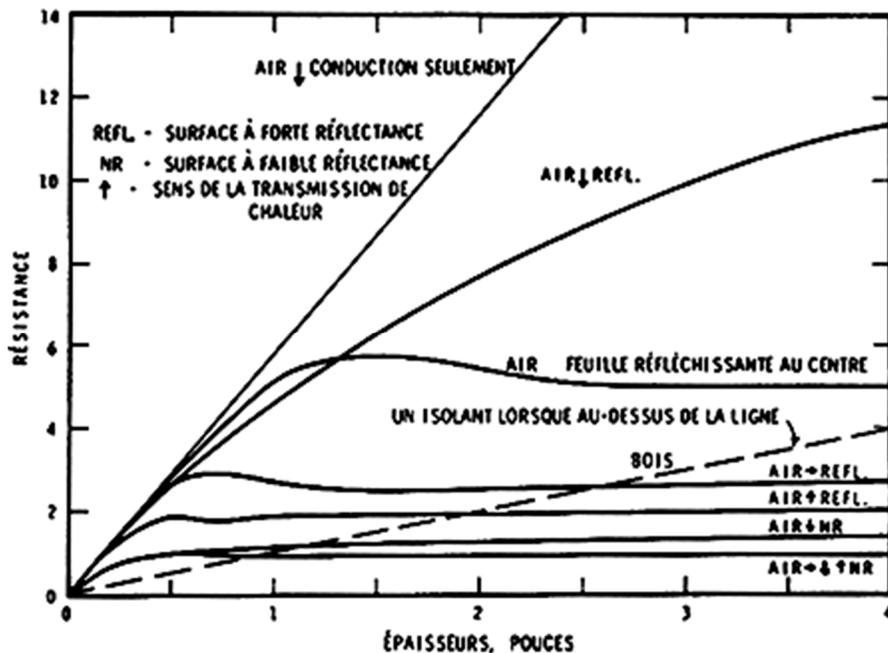


Figure 2. Résistance en fonction de l'épaisseur des vides d'air et du bois.

L'on peut augmenter la résistance d'un espace d'air épais en le subdivisant en lames plus minces. La résistance de tout l'espace s'obtient alors en totalisant la résistance de chacune des lames et la résistance des séparateurs. Cette technique est très efficace lorsque le matériau

utilisé pour subdiviser l'espace possède un faible coefficient d'émission, tel l'aluminium en feuille. La transmission de chaleur par rayonnement est alors réduite à moins de 10 pour cent de la valeur transmise avec un séparateur en papier kraft ordinaire. Il est cependant important de se rappeler que l'aluminium en feuille par lui-même ne contribue aucune résistance thermique; il augmente cependant la résistance de la lame d'air auquel il fait face. L'importance de cette influence est démontré par les courbes apparaissant sur la Figure 2 pour des lames d'air ayant des surfaces possédant un fort ou un faible coefficient d'émission. L'accroissement de la résistance obtenu en subdivisant un espace sera diminuer si l'air est libre de circuler d'une lame à une autre ou si la surface réfléchissante se couvre de saleté ou de condensation.

Structure de l'Isolation Thermique

On reconnaît deux types d'isolants commerciaux différenciés par leur structure de base: une masse d'air continue contenant une dispersion de particules solides ou de fibres; une matière expansée et continue et dont les alvéoles sont remplies de gaz.

Lorsqu'une petite quantité de matériau opaque et solide est répartie dans un espace d'air, il empêche la transmission de la chaleur par convection et rayonnement tout en ne contribuant que faiblement à la perte par conduction, augmentant ainsi la valeur de la résistance thermique de l'espace (Figure 1). Les matières solides tel le verre, la roche et le plastique qui n'offrent que peu de résistance à l'écoulement de la chaleur peuvent être utilisé pour produire de bons isolants. La valeur limitative pour un isolant de faible densité à pores ouvertes est donné par la courbe la plus haute sur la Figure 2. Cette courbe représente la condition idéale de la transmission de chaleur à travers l'air par conduction seulement. La courbe la plus basse représente l'autre extrême, en tant qu'elle reflète l'influence totale du rayonnement et de la convection. Les courbes produites en traçant la résistance contre l'épaisseur pour les isolants de faible densité à pores ouvertes se situent généralement entre ces deux extrêmes.

Les isolants expansés peuvent contenir des gaz autre que l'air dans leurs alvéoles et ainsi peuvent offrir une résistance supérieure aux isolants contenant seulement de l'air. La Figure 3 montre les courbes de conduction pour le gaz réfrigérant R11, à savoir du Fréon-11, ainsi qu'un mélange de ce gaz et d'air; ces deux courbes se situent bien au-dessus de la courbe de l'air pur. Cette figure montre aussi la courbe pour un type d'uréthane récemment moussé et dont les alvéoles sont remplies de R11. Quoique cette courbe soit au-dessous de celle de R11, elle se retrouve au-dessus de la limite supérieure pour un isolant de faible densité à pores ouvertes. La courbe décrivant la résistance du matériau en fonction de son épaisseur dépendra de l'interaction des différents procédés de transmission de la chaleur dans le matériau. Ce rapport pourra produire une ligne droite ou encore une courbe sinueuse. La structure et la composition du matériau et l'uniformité d'exécution des essais détermineront en grande partie la configuration de cette courbe.

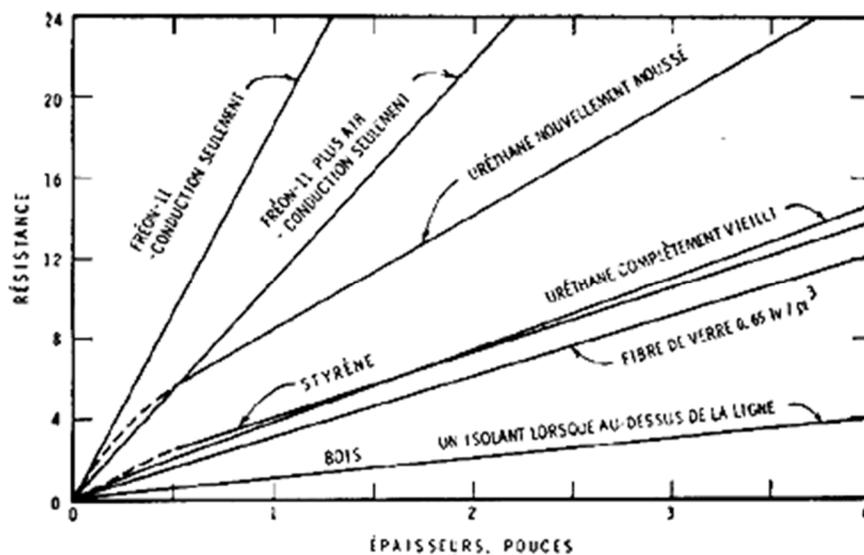


Figure 3. Résistance en fonction de l'épaisseur pour matériaux, conditions normalisées d'essai.

Effets du Vieillissement

Lorsque les alvéoles contiennent un gaz autre que l'air, celui-ci cherche à s'échapper au travers des parois des alvéoles par diffusion. Il en est de même pour l'air et la vapeur d'eau qui tentent à s'infiltrer dans les alvéoles de l'extérieur. Ces divers processus de diffusion agissent indépendamment les uns des autres et à des rythmes bien différents. Certains gaz composés de larges molécules tel le Fréon-11 et -12 peuvent prendre des années pour s'échapper d'une mousse d'uréthane et polystyrène de bonne qualité, tandis que le gaz carbonique peut s'en échapper dans l'espace de quelques jours seulement et l'air peut s'infiltrer dans ces mêmes alvéoles en quelques semaines. Ces durées seront beaucoup plus courtes à des températures plus élevées.

La valeur de la résistance thermique contribuée par un mélange de gaz dans les alvéoles change avec le temps, jusqu'à ce qu'un équilibre en résulte. Par conséquent, la valeur de la résistance thermique de l'isolant changera à mesure que vieillira le matériau. La valeur thermique de l'isolant vieilli devrait être utilisé pour calculer les extrêmes de température ou de condensation de la vapeur d'eau pour les bâtiments d'une durée de vie de plusieurs décades. Les isolants à cellules ouvertes ne contiennent que de l'air et ne sont donc pas sujets à cet effet du vieillissement.

On peut empêcher la diffusion des gaz dans chaque direction en enveloppant l'uréthane d'une membrane imperméable telle un aluminium en feuille ou une feuille en métal. Le papier kraft recouvert de polyéthylène, les enduits de cire ou une dense croûte d'uréthane formé au moment du moussage réduiront pareillement le degré de diffusion. Si les causes de vieillissement de l'uréthane sont ainsi réduites à un degré négligeable, le coefficient initial de résistance thermique, à savoir 7 à 9 unités par pouce d'épaisseur, peut être utilisé pour tout calcul.

Effet de la Densité sur la Résistance Thermique

La résistance de tous les types d'isolant dépend énormément de la quantité de matière solide présente dans leur structure, surtout ceux de faible densité qui nous intéressent davantage. La Figure 4 nous montre comment la résistance de différents matériaux isolants d'un pouce d'épaisseur, déterminée selon les essais normalisés, varie avec la densité. Lorsque les densités sont très faibles, la quantité de matière est si petite qu'il se produit une transmission considérable de chaleur au travers l'échantillon par rayonnement ainsi qu'une faible transmission par convection. À mesure qu'augmente la proportion de matière solide, la transmission de chaleur diminue d'intensité jusqu'à ce que l'accroissement de la conduction due

à l'augmentation de matière solide est égale à la réduction due à la diminution de la transmission par convection et rayonnement. Cette densité représente donc la densité idéale pour une résistance maximale. Dépassé cette densité, la résistance diminue lentement à mesure que la quantité de matière solide augmente.

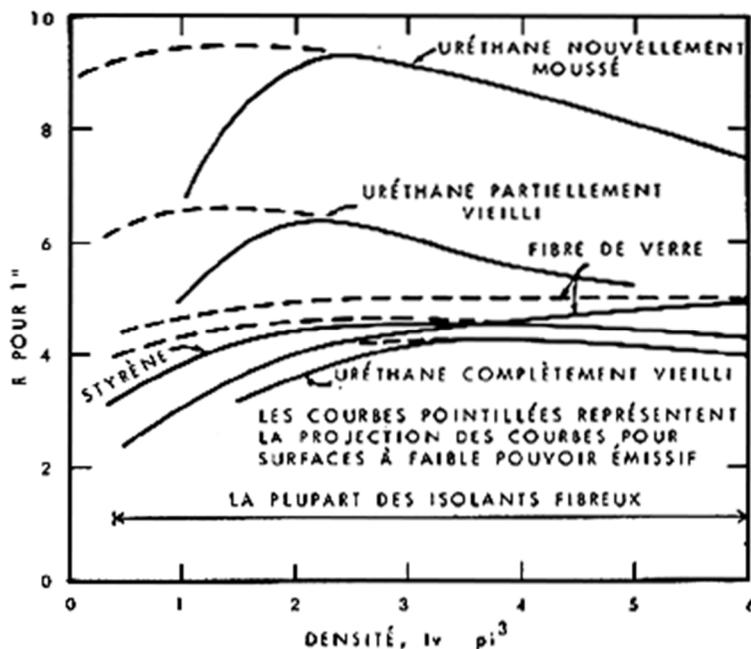


Figure 4. La résistance d'échantillons d'un pouce d'épaisseur en fonction de la densité.

Les membranes réfléchissantes, face à, et en contact avec, un isolant peuvent être utilisées pour augmenter la résistance des isolants de faible densité. Lorsque les surfaces externes d'un isolant ne possèdent qu'un faible coefficient émissif, il y a réduction de transmission de chaleur par rayonnement et la résistance globale dépend moins de la densité de l'isolant. Les courbes pointillées de la Figure 4 sont des exemples de résultats obtenus pour des échantillons ayant un aluminium en feuille en surface.

Le coût de l'isolant thermique dépend de sa densité. Les fabricants tendent à produire les isolants de densité plus faible que celle donnant la meilleure résistance R par unité d'épaisseur parce que les isolants à faible densité sont moins dispendieux par unité de résistance. La Figure 4 nous montre la gamme disponible d'isolants commerciaux à base de fibres.

Les Effets de la Température Moyenne

Les courbes tracées aux Figures 2 à 4 sont valables pour une température moyenne déterminée. Par contre les isolants de bâtiments sont soumis à des ambiances variant de -50 à plus de 200°F. Les méthodes de transmission de chaleur au travers un matériau seront modifiées en conséquence, et l'effet le plus considérable proviendra du changement de la résistance thermique de l'air ou du gaz réfrigérant.

À mesure que la température s'élève, la résistance des gaz due à la transmission de la chaleur par conduction diminue. Par exemple, une lame d'air d'un pouce d'épaisseur soumise à une température de -50°F a une résistance d'environ 7; à une température de 150°F elle possède une résistance d'environ 5. La résistance des isolants à base d'air se conforme à ce principe; la résistance d'un isolant en fibre de verre varie entre environ 6.5 à -50°F à environ 4 à 150°F. La résistance d'un uréthane nouvellement moussé diminue lorsque la température s'élève au-dessus de 50°F dû à l'accroissement de la conductivité des gaz; elle diminue également lorsque la température s'abaisse au-dessous de 50°F due à la condensation des gaz réfrigérants à l'intérieur des alvéoles. Ce phénomène peut réduire la résistance de l'uréthane à un niveau inférieur à celui d'un isolant moins dispendieux à base d'air.

Valeurs des Résistances Thermiques à Utiliser Pour Calculs

Pour la plupart des isolants, on peut obtenir les valeurs de résistance thermique à la température normale d'intérieur dans les manuels, les brochures techniques, la documentation sur leurs produits, et les dépliants techniques publiés par les manufacturiers. Le changement de la résistance thermique de l'isolant conforme aux paramètres déjà mentionnés est souvent ignoré et ces renseignements ne sont généralement disponibles que dans les manuels de référence, les brochures techniques, et la documentation sur leurs produits publiée par les manufacturiers.

Pour les calculs courants, l'on peut justifier le choix d'un isolant basé sur une seule valeur de résistance thermique à une température moyenne autre que l'écart de température auquel sera soumis l'isolant. Pour les calculs de précision ou ceux qui sont appelés à minimiser la quantité requise d'isolant, ou à utiliser l'épaisseur la plus économique, tous les facteurs affectant la résistance thermique de l'isolant devraient être considérés. Cette règle vaut surtout pour les isolants dont les alvéoles renferment des gaz autre que l'air. La possibilité de condensation du gaz peut réduire la résistance de cet isolant à un niveau inférieur à celui d'un isolant moins dispendieux, à base d'air.

Il faut s'assurer au moment de la conception que l'isolant sera protégé des pressions différentielles qui pourraient favoriser le cheminement de l'air au travers l'isolant. Il faudra aussi le protéger contre l'eau et la vapeur d'eau qui pourrait le détremper. Ce sont là des facteurs qui réduisent la résistance thermique de l'isolant. Certains Digests précédents ont traité des murs et des toitures et ont étudiés le problèmes de la disposition de l'isolant dans divers systèmes de bâtiment. On devrait les consulter pour obtenir plus de renseignements.

Isolants Façonnés sur Place

Les isolants projetés, moussés et soufflés en place peuvent être les seuls matériaux utilisables dans certains endroits difficiles d'accès. Les propriétés de ces isolants dépendent énormément des conditions présentes au moment de leur application, de la nature de l'installation et de la compétence de l'ouvrier. L'on ne devrait pas s'attendre à ce que ces matériaux possèdent une résistance aussi élevée que des matériaux semblables produits en usine.

Conclusion

Parce que la résistance de l'isolation thermique dépend d'un si grand nombre de variables le concepteur devrait s'assurer que les produits qu'il recommande sont appropriés aux conditions prévues. Certains renseignements rarement inclus dans les dépliants des manufacturiers, sont disponibles dans le Guide and Data Books et le Handbook of Fundamentals publiés par l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.